"نشریه علوم زراعی ایران"
جلد بیست و پنجم، شماره ٤، زمستان ١٤٠٢

مقاله پژوهشی

DOR: 20.1001.1.23223243.2021.19.1.29.0

ارزیابی برهمکنش ژنوتیپ و محیط بر عملکرد دانه و پایداری عملکرد لاین‌های امیدبخش جو (*Hordeum vulgare* L.) با استفاده از مدل AMMI و آماره‌های پایداری

Evaluation of genotype × environment interaction on grain yield and yield stability of barley (*Hordeum vulgare* L.) promising lines using AMMI model and stability statistics

سلیم رحمتی[1]، رضا عزیزی‌نژاد[2]، علیرضا پورابوقداره[3]، علیرضا اطمینان[4] و لیا شوشتری[5]

چکیده

رحمتی، س.، ر. عزیزی‌نژاد، ع. ر. پورابوقداره، ع. ر. اطمینان و ل. شوشتری. ١٤٠٢. ارزیابی برهمکنش ژنوتیپ و محیط بر عملکرد دانه و پایداری عملکرد لاین‌های امیدبخش جو (*Hordeum vulgare* L.) با استفاده از مدل AMMI و آماره‌های پایداری. **نشریه علوم زراعی ایران. ٢٥ (٣): ٣٤١ -٣٢٥.**

آزمایش‌های چندمحیطی و تجزیه برهمکنش ژنوتیپ و محیط نقش مهمی در برنامه‌های به‌نژادی مرتبط با معرفی ارقام پرمحصول و پایدار مناسب کشت در مناطق مختلف دارند. در این تحقیق، ١٨ لاین امیدبخش جو همراه با دو رقم اکسین و گلچین (شاهد) در پنج ایستگاه تحقیقاتی اهواز، داراب، زابل، گنبد کاووس و مغان به مدت دو سال زراعی (١٤٠٠-١٤٠١ و ١٤٠١-١٤٠٢) مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج تجزیه واریانس داده‌ها با استفاده از مدل اثرات اصلی افزایشی و اثر متقابل ضرب‌پذیر (AMMI) نشان داد که اثر محیط، ژنوتیپ و برهمکنش بین آن‌ها بر عملکرد دانه لاین‌های امید بخش جو معنی‌دار بود. بیشترین سهم تغییرات عملکرد دانه توسط اثر محیط و برهمکنش ژنوتیپ و محیط توجیه شد. سه مؤلفه نخست ٦٨/٩ درصد از کل تغییرات برهمکنش ژنوتیپ و محیط را توجیه کردند. نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که لاین‌های امیدبخش شماره ١٤، ٣، ١٠ و ١٧ به‌ترتیب با ٤٩٦٠، ٤٩٢٠، ٤٧٥٠ و ٤٦٧٠ کیلوگرم در هکتار، دارای عملکرد دانه بالاتری نسبت به ارقام شاهد و سایر لاین‌های امیدبخش بودند. بر اساس آماره‌های پایداری مبتنی بر مدل AMMI، لاین ١٧ و بر اساس آماره‌های مبتنی بر مدل پیش‌بینی‌های خطی نااریب (BLUP)، لاین‌های ١، ٣، ١٠، ١٤ و ١٧ به‌ترتیب بیشترین پایداری عملکرد دانه را داشتند. با توجه به بای‌پلات دوطرفه عملکرد دانه و شاخص میانگین وزنی نمرات مطلق (WAASB)، لاین‌های جو مورد بررسی در چهار ربع گروه‌بندی شده و لاین‌های ٣، ١٠ و ١٧ در گروه لاین‌های با پایداری عملکرد دانه بالا قرار گرفتند. نتایج این پژوهش نشان داد که لاین‌های امیدبخش ٤ و ١٤ دارای سازگاری خصوصی به مناطق شمالی (مغان و گنبدکاووس) و لاین‌های امیدبخش ٣ و ١٠ دارای سازگار خصوصی به مناطق جنوبی (زابل، اهواز و داراب) در اقلیم گرم بودند. پژوهش‌های تکمیلی روی این لاین‌های امید بخش برای انتخاب و معرفی برخی از آنها به‌عنوان ارقام جدید و یا استفاده از آنها در برنامه‌های ملی به نژادی جو ، پیشنهاد می‌شود.

واژه‌های کلیدی: آزمایش‌های چند محیطی، پایداری عملکرد، سازگاری خصوصی، جو و تجزیه به مؤلفه‌های اصلی

تاریخ دریافت: ١۴٠٢/١٠/٢٣ تاریخ پذیرش: ١۴٠٢/١٢/١٩ این مقاله مستخرج از پروژه تحقیقاتی شماره ٠٠١٢۴٠-١۶١-٠٣١٣-٠٣-٠٣ مصوب موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر می‌باشد

١- دانشجوی دکتری گروه بیوتکنولوژی و به‌نژادی گیاهی، واحد علوم تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

٢- استادیار گروه بیوتکنولوژی و به‌نژادی گیاهی، واحد علوم تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

٣- استادیار موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران (مکاتبه کننده)

(پست الکترونیک: a.poraboghadareh@gmail.com)

۴- دانشیار گروه بیوتکنولوژی و به‌نژادی گیاهی، واحد کرمانشاه، دانشگاه آزاد اسلامی، کرمانشاه، ایران

۵- استادیار گروه بیوتکنولوژی و به‌نژادی گیاهی، واحد کرمانشاه، دانشگاه آزاد اسلامی، کرمانشاه، ایران

Evaluation of genotype × environment interaction on grain yield and yield stability of barley (*Hordeum vulgare* L.) promising lines using AMMI model and stability statistics

Rahmati, S.[1], Azizinezhad, R.[2], Pour-Aboughadareh, A.R.[3], Etminan, A.R.[4] and Shooshtari, L.[5]

ABSTRACT

Rahmati, S., Azizinezhad, R., Pour-Aboughadareh, A.R., Etminan. A.R. and Shooshtari. L. 2024. Evaluation of genotype × environment interaction on grain yield and yield stability of barley (*Hordeum vulgare* L.) promising lines using AMMI model and stability statistice. **Iranian Journal of Crop Sciences. 25(3): 325-341. (In Persian).**

Introduction: Multi-environmental trials (METs) and analysis of genotype-by-environment (GE) interaction have a critical role in breeding programs related to the release of high-yielding cultivars with high yield satbility for cultivation across different environments. Different statistical and graphical methods have been proposed to evaluate the GE interaction effects. In the present study, the effect of GE interaction on grain yield in set of new promising lines of barley was evaluated using the additive main effect and multiplicative interaction (AMMI) model.
Materials and methods: A set of promising lines of barley including 18 new advanced lines along with two commercial cultivars (cv. Golchin and cv. Oxin) as reference checks were evaluated in the multi-environment trials. Experiments were carried out in five geographical regions in the warm agro-climatic of Iran which included Ahvaz (E1 and E2), Darab (E3 and E4), Gonbad (E5 and E6), Zabol (E7 and E8), and Moghan (E9 and E10) for two consecutive cropping seasons (2021-2022 and 2022-2023). The AMMI model and some stability and adaptability statistics were used to evaluate the effect of GE interaction on grain yield and identify the high yielding with yield stability promising lines.
Results: The results indicated that grain yield was significantly affected by environments (E), genotypes (G), and their interaction (GEI). Environments and GE interaction effect explained the highest portion of observed variation of grain yield. Moreover, the GEI effect was further divided into three principal components (IPCAs) and accounted for 68.99 of the total GE interaction variation. Mean comparison showed that promising lines 14, 3, 10, and 17 had higher grain yield (4960, 4920, 4750, and 4670 kg.ha^{-1}, respectively) when compared to the other promising lines and check cultivars. According to the AMMI-based stability statistics, promising lines 17 had the highest yield stability. Moreover, this genotype along with promising lines 1, 3, 10, and 14 were selected as superior promising lines based on the BLUP-based stability and adaptability statistics. Principle components analyisis based on biplot rendered using the WAASB index and grain yield clustered all studied promising lines and experimental environments into four quadrants. Accordingly, promising lines 3, 10, and 17 were placed into the highest yield stability group.
Conclusion: The results of this research revealed that promising lines 4 and 14 had specific adaptability to the northern regions (Moghan and Gonbad), and promising lines 3 and 10 showed specific adaptability to the southern regions (Ahvaz, Darab, and Zabol). Therefore, further evaluation of these promising lines, for selection and releasing some of them as new commercial cultivars as well as using them as parents in the national barley breeding programs, is required.
Key words: Barley, Multi-environmental trails, Principal component analysis and Specific adaptability

Received: January, 2024 **Accepted: March, 2024**
1. PhD Student, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran
2. Assistant Prof., Department of Biotechnology and Plant Breeding, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran
3. Assistant Prof., Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Karaj, Iran (Corresponding author) (Email: a.poraboghadareh@gmail.com)
4. Associate Prof., Department of Plant Breeding and Biotechnology, Kermanshah Branch, Islamic Azad University, Kermanshah, Iran
5. Associate Prof., Department of Plant Breeding and Biotechnology, Kermanshah Branch, Islamic Azad University, Kermanshah, Iran

مقدمه

جو (.*Hordeum vulgare* L) یکی از گیاهان زراعی مهم خانواده غلات است که دامنه سازگاری وسیعی به انواع شرایط محیطی و تنش‌های غیرزنده، به ویژه خشکی، شوری و سرما دارد (Vaezi *et al.*, 2019). جو نقش مهمی در تأمین انرژی و پروتئین مورد نیاز انسان و دام دارد در ایران مصرف عمده جو برای تغذیه دام بوده و تنها مقدار کمی از تولید دانه برای تولید مالت مورد استفاده قرار می‌گیرد (Ghazvini *et al.*, 2022). براساس گزارش فائو، جو پس از گندم، برنج و ذرت با تولید جهانی ۱۵۴ میلیون تن و سطح زیر کشت نزدیک به ۵۰ میلیون هکتار، رتبه چهارم را در سال میلادی ۲۰۲۲ به خود اختصاص داده است. در ایران جو با تولید سه میلیون تن و سطح زیر کشت حدود یک میلیون و ۷۰۰ هزار هکتار پس از گندم در رتبه دوم قرار دارد (FAO, 2023). با توجه به دامنه سازگاری وسیع و امکان افزایش سطح زیر کشت جو در مناطق مختلف ایران، لازم است تنوع ارقام زراعی برای افزایش تولید آن در اقلیم‌های مختلف مورد توجه قرار داده شود.

عملکرد دانه به عنوان یک صفت مهم کمی زراعی و اقتصادی، همواره تحت تأثیر عوامل ژنوتیپی (G)، محیطی (E) و برهمکنش ژنوتیپ و محیط (GE) می‌باشد و برهمکنش ژنوتیپ و محیط بسیار مهم است (Yan and Kang, 2003). برهمکنش ژنوتیپ و محیط جهت شناسایی و معرفی ژنوتیپ‌های پرمحصول سازگار و پایدار دارای اهمیت ویژه‌ای است. از این‌رو ارزیابی برهمکنش ژنوتیپ و محیط علاوه بر داده‌های آزمایشی مناسب، نیاز به روش‌ها و مدل‌های آماری مناسبی دارد. در این رابطه آزمایش‌های چند محیطی (Multi-environment trials; MET) نقش مهمی در فراهم آوردن داده‌های آزمایشی مورد نیاز برای تجزیه برهمکنش ژنوتیپ و محیط و شناسایی ارقام پرمحصول و سازگار به مناطق هدف دارند (Pour-Aboughadareh *et al.*, 2019). روش‌ها و مدل‌های آماری دیگری برای تجزیه برهمکنش ژنوتیپ و محیط معرفی شده‌اند. این روش‌ها به دو گروه اصلی تک متغیره و چندمتغیره دسته‌بندی می‌شوند. مدل اثرات اصلی افزایشی و اثرمتقابل ضرب‌پذیر (Additive Main Effects and Multiplicative Interaction) (AMMI) به‌عنوان یک مدل چندمتغیره مهم، ترکیبی از تجزیه واریانس تک متغیره و تجزیه به مؤلفه‌های اصلی است. اثرات افزایشی یا جمع‌پذیر از طریق تجزیه واریانس و اثرات ضرب‌پذیر از طریق تجزیه به مؤلفه‌های اصلی قابل برآورد هستند (Gauch, 1992). مدل AMMI به‌دلیل توانایی در تفکیک اثرات اصلی و متقابل و توجیه بخش عمده‌ای از مجموع مربعات برهمکنش ژنوتیپ و محیط، استفاده گسترده‌ای دارد (Gauch and Zobel, 1997). در روش AMMI با استفاده از نمره مؤلفه‌های اصلی می‌توان شاخص‌های آماری مانند (Average of the EV squared eigenvector value) (Zobel, 1994)، ASV (AMMI stability value) (Purchase *et al.*, 2000)، FA (Fitted AMMI model) (Raju, 2002)، ASTAB (AMMI-based stability parameter) (Rao and Prabhakaran, 2005)، ASI (AMMI stability index) (Jambhulkar *et al.*, 2017) را محاسبه کرد. نمایش گرافیکی ژنوتیپ‌های پایدار و بررسی روابط بین محیط‌ها در قالب بای‌پلات‌های AMMI-1 و AMMI-2 از دیگر مزایای استفاده از روش AMMI محسوب می‌شوند (Gauch and Zobel, 1997).

از مدل AMMI برای تجزیه برهمکنش ژنوتیپ و محیط و ارزیابی پایداری ژنوتیپ‌های انواع گیاهان زراعی استفاده شده است. نجفی‌میرک و همکاران (Najafi-Mirak *et al.*, 2019) در ارزیابی پایداری مجموعه‌ای از ژنوتیپ‌های گندم دوروم از روش AMMI استفاده کرده و گزارش دادند که دو مؤلفه نخست ۸۷/۱۴ درصد از کل تغییرات مربوط به برهمکنش ژنوتیپ و محیط را توجیه کردند. آن‌ها با

استفاده از بای‌پلات AMMI-2 ژنوتیپ‌های سازگار با هر یک از مناطق هدف مورد مطالعه را شناسایی کردند. خزایی و همکاران (Khazaei *et al.*, 2019) نیز با استفاده از این مدل، پایداری لاین‌های دو منظوره سورگوم دانه‌ای و علوفه‌ای را مورد بررسی قرار دادند و با استفاده از بای‌پلات AMMI-1 و شاخص ASV، دو لاین پرمحصول و پایدار را شناسایی کردند. پورابوقداره و همکاران (Pour-Aboughadareh *et al.*, 2023a) جهت ارزیابی پایداری ژنوتیپ‌های امیدبخش جو برای کشت در مناطق سردسیر ایران از تجزیه AMMI استفاده و با استفاده از بای‌پلات‌های AMMI-1 و AMMI-2 ژنوتیپ‌های برتر از نظر عملکرد دانه و پایداری آن‌ها برای هر یک از مناطق هدف را شناسایی کردند. نیکخواه و همکاران (Nikkhah *et al.*, 2007) در جو، مؤمنی و همکاران (Moumeni *et al.*, 2019) در برنج، حمایتی و همکاران (Hemayati *et al.*, 2023) در چغندرقند و پورابوقداره و همکاران (Pour-Aboughadareh *et al.*, 2022, 2023b) در جو نیز در آزمایش‌های خود از مدل AMMI برای ارزیابی برهمکنش ژنوتیپ و محیط بر عملکرد محصول استفاده کرده و سودمندی بالای این مدل را گزارش کردند. علی‌رغم مزایای مدل AMMI و استفاده گسترده از آن، این مدل در تشریح ساختار مدل خطی اثر مختلط (Linear mixed effect model; LMM) کارایی ندارد. برای برطرف کردن این مشکل، استفاده از مدل بهترین پیش‌بینی‌های خطی نااریب (Best linear unbiased predictors; BLUP) پیشنهاد شده است (Olivoto *et al.*, 2019). این روش در صورت وجود اثرات LMM، پتانسیل بالایی در پیش‌بینی دقیق‌تر اثرات تصادفی دارد. بر این اساس، رزنده و دتور (Resende and de Duarte, 2007) سه آماره میانگین هارمونیک ارزش‌های ژنوتیپی (Harmonic mean of genotypic value; HMGV)، کارایی نسبی ارزش‌های ژنوتیپی (Relative performance of genotypic value; RPGV) و میانگین هارمونیک کارایی ارزش‌های ژنوتیپی (Harmonic mean of relative performance of genotypic values; HRPGV) را برای ارزیابی پایداری، سازگاری و بررسی توأم پایداری و سازگاری ارائه نمودند. کارایی استفاده از این آماره‌ها در تعیین سازگاری و پایداری ژنوتیپ‌های گیاهان زراعی توسط سایر محققان نیز گزارش شده است (Resende and de Duarte, 2007; Borges *et al.*, 2010; Pour-Aboughadareh *et al.*, 2023c; Zali *et al.*, 2023). اولیوتو و همکاران (Olivoto *et al.*, 2019) با ادغام ویژگی‌های مدل AMMI و BLUP اقدام به معرفی یک معیار پایداری ژنوتیپی بر مبنای میانگین وزنی نمرات مطلق (Weighted average of absolute scores; WAASB) کردند. این معیار حاصل تلفیق دو روش AMMI و BLUP می‌باشد و قادر به وزن‌دهی عملکرد دانه و پایداری آن است.

بیش از ۱۰۰ هزار هکتار از اراضی زیر کشت جو در کشور در اقلیم گرم واقع شده و بیشتر مناطق هدف برای زراعت جو در استان‌های خوزستان، سیستان و بلوچستان، بوشهر، قسمت‌هایی از استان‌های کرمان، شیراز و ایلام در نواحی جنوبی و قسمت‌هایی از استان‌های گلستان، مازندران و دشت مغان در نواحی گرم و مرطوب شمال کشور قرار دارند (Ghazvivni *et al.*, 2019). با توجه به سطح زیر کشت بالای جو در مناطق گرمسیری و با در نظر گرفتن تغییرات اقلیمی گسترده در این مناطق، لازم است توسعه ارقام جدید پرمحصول و پایدار در برنامه‌های اصلاحی جو مورد توجه قرار داده شود. این تحقیق با هدف ارزیابی عملکرد دانه و پایداری آن در مجموعه‌ای از ژنوتیپ‌های امیدبخش جو حاصل از برنامه‌های به‌نژادی جو آبی کشور اجرا شد تا با استفاده از نتایج آن، ژنوتیپ‌های برتر جهت معرفی به عنوان رقم تجاری و یا استفاده در برنامه‌های دورگ‌گیری شناسایی شوند.

مواد و روش‌ها

مواد گیاهی مورد استفاده در این تحقیق شامل ۱۸ لاین امیدبخش جو همراه با دو رقم تجاری اکسین و گلچین (شاهد) بودند (جدول ۱). ژنوتیپ‌های مورد ارزیابی انتخاب شده از برنامه‌های دورگ‌گیری داخلی و ارزیابی‌های مربوط به برنامه‌های به‌نژادی جو آبی کشور بودند. ارقام جو اکسین و گلچین نیز دامنه سازگاری بالایی به شرایط اقلیمی گرم کشور دارند و در نواحی مختلف به عنوان ارقام تجاری پرمحصول و سازگار مورد استفاده قرار می‌گیرند.

جدول ۱- شجره لاین‌های امیدبخش جو مورد ارزیابی

Table 1. Pedigree of evaluated barley promising lines

ژنوتیپ‌های جو Barley genotypes	شجره Pedigree
G1	Oxin [Check 1]
G2	Golchin [Check 2]
G3	Rojo/3/LB.Iran/Una8271//Gloria"S"/Com"S"/4/ Briges
G4	Rojo/3/LB.Iran/Una8271//Gloria"S"/Com"S"/4/Rihane-03
G5	Zarjau/80-5151//OK84817ICBH94-0402-0AP-0AP-17AP-0AP-12AP-11AP-0AP-0TR-0TR-0AREC
G6	Zarjau/80-5151//OK84817ICBH94-0402-0AP-0AP-17AP-0AP-12AP-16AP-0AP-0TR-0TR-0AREC
G7	Lignee 527/Nk1272//JLB 70-63/3/Rhn-03//Lignee527/As45
G8	Karoon/Kavir//Rhodes'S'//Tb/Chzo/3/Gloria'S' /4/Sahra/5/Yousef
G9	Anoidium/Arbayan-01/3/Lignee527/Nk1272//JLB70-63/4/ Beecher
G10	Anoidium/Arbayan-01/3/Lignee527/Nk1272//JLB70-63/4/Bgs/Dujia//L.1242
G11	Bgs/Dajia//L.1242/3/(L.B.Iran/Una8271//Gloria'S'/3/Alm/Una80//....)/4/Nosrat/5/Rhn-03//L.527/Nk1272
G12	ciru/Tocte
G13	Courlis/Rhn-03//Jonoob
G14	Zahak/4/Bgs/Dajia//L.1242/3/L.B.IRAN/Una8271//Gloria'S'/3/Alm/Una80//....)/4/Rojo…
G15	Rojo/3/LB.Iran/Una8271//Gloria"S"/Com"S"/4/Gloria'S'/Copal'S'//As46/Aths/3/Rhn-03
G16	Rojo/3/LB.Iran/Una8271//Gloria"S"/Com"S"/4/Anoidium/Arbayan-01/3/Lignee527/…
G17	Merzaga(Orge077)/Alanda-01 ICB98-0908-0AP-13AP-0AP-3TR-10AP-0AP-0TR-0TR
G18	Penco/Chevron-Bar/6/P.STO/3/LB.Iran/UNA80//Ligne640/4/BLLU/5/Petunia 1
G19	(Salt-4) LB.Iran/Una 8271//Gloria"S"/Come"s"-11M/3/Kavir/4/Karoon
G20	W-98-10

آزمایش‌های چندمحیطی به مدت دو سال زراعی (۰۱-۱۴۰۰ و ۰۲-۱۴۰۱) در پنج ایستگاه تحقیقاتی در اهواز، داراب، زابل، گنبدکاووس و مغان اجرا شدند (جدول ۲). اطلاعات هواشناسی ایستگاه‌های تحقیقاتی در جدول ۳ ارائه شده است. آزمایش‌ها در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شدند. در کلیه محیط‌ها زمین محل اجرای آزمایش در سال قبل آیش بود. عملیات تهیه زمین مطابق دستورالعمل کارشناسی هر ایستگاه انجام شد. قبل از کاشت، نیتروژن (از منبع کود اوره)، فسفر (از منبع کود سوپرفسفات تریپل) و پتاس (از منبع کود سولفات پتاس) به میزان ۱۵، ۵۰ و ۲۵ کیلوگرم در هکتار به خاک داده شدند. هر کرت آزمایشی شامل شش ردیف کاشت پنج متری بوده و فاصله بین ردیف‌ها ۲۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. کاشت بذر بسته به شرایط هر محیط در آذر ماه با استفاده از دستگاه بذرکار (Wintersteiger, Ried, Austria) و با تراکم ۳۵۰ بذر در مترمربع انجام شد. برای کنترل علف‌های هرز از علف‌کش‌های پوماسوپر و گرانستار استفاده شد. در مرحله ساقه‌دهی ۲۰ کیلوگرم نیتروژن (از منبع کود اوره) به خاک داده شد. در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک دانه‌ها، محصول کلیه کرت‌های آزمایشی پس از حذف حاشیه‌ها با استفاده از کمباین ویژه آزمایش‌ها (Wintersteiger, Ried, Austria) برداشت و مقدار عملکرد دانه برمبنای کیلوگرم در هکتار ثبت شد.

جدول ۲- اطلاعات جغرافیایی محیط‌های آزمایشی

Table 2. Geographical information of the experimental environments

کد Code	Location	مکان	Year	سال	مشخصات جغرافیایی Coordinates	Geographical location	موقعیت جغرافیایی	Climate condition	شرایط اقلیمی
1	Ahvaz	اهواز	2021-2022	۱۴۰۰-۰۱	31° 19' 13" N 48° 40' 09" E	South	جنوب	Warm and dry	گرم و خشک
2			2022-2023	۱۴۰۱-۰۲					
3	Darab	داراب	2021-2022	۱۴۰۰-۰۱	28° 45' 07" N 54° 32' 40" E	South	جنوب	Warm and dry	گرم و خشک
4			2022-2023	۱۴۰۱-۰۲					
5	Gonbad	گنبد	2021-2022	۱۴۰۰-۰۱	31° 01' 43" N 61° 30' 04" E	Northeast	شمال شرقی	Warm and humid	گرم و مرطوب
6			2022-2023	۱۴۰۱-۰۲					
7	Zabol	زابل	2021-2022	۱۴۰۰-۰۱	37° 15' 00" N 55° 10' 02" E	Southeast	جنوب شرقی	Warm and dry	گرم و خشک
8			2022-2023	۱۴۰۱-۰۲					
9	Moghan	مغان	2021-2022	۱۴۰۰-۰۱	39° 38' 54" N 47° 55' 03" E	Northwest	شمال غربی	Warm and humid	گرم و مرطوب
10			2022-2023	۱۴۰۱-۰۲					

جدول ۳- اطلاعات هواشناسی ایستگاه‌های تحقیقاتی محل اجرای آزمایش‌ها (۰۱-۱۴۰۰ و ۰۲-۱۴۰۱)

Table 3. Meteorological information of the research stations of the experiments (2021-22 and 2022-23)

Environment	محیط*	کمینه دما Min. temperature (°C)	بیشینه دما Max. temperature (°C)	میانگین دما Mean temperature (°C)	بارش Precipitation (mm)
Ahvaz-1	اهواز-۱	15.8	29.5	23.3	167.2
Darab-1	داراب-۱	11.7	24.7	19.1	217.1
Zabol-1	زابل-۱	11.4	24.8	18.6	70.0
Gonbad-1	گنبد-۱	9.7	22.2	16.1	413.6
Moghan-1	مغان-۱	7.8	17.1	12.8	254.6
Mean	میانگین	11.3	23.7	18.0	224.5
Ahvaz-2	اهواز-۲	15.7	28.5	22.6	398.3
Darab-2	داراب-۲	11.8	23.9	18.7	251.2
Zabol-2	زابل-۲	12.4	25.0	19.4	68.6
Gonbad-2	گنبد-۲	11.2	23.7	17.3	384.4
Moghan-2	مغان -۲	8.8	18.2	13.8	279.9
Mean	میانگین	12.0	23.9	18.4	276.5

* 1 and 2; Cropping seasons 2021-2022 and 2022-2023, respectively

تجزیه AMMI روی داده‌ها با استفاده از رابطه ۱ انجام شد (Gauch, 1992):

(رابطه ۱)

$$\mu_{ij} = \mu + \alpha_i + \tau_j + \sum_{k=1}^{p} \lambda_k \alpha_{ik} t_{jk} + \rho_{ij} + \varepsilon_{ij}$$

α_i، τ_j، λ_k، t_{jk}، α_{ik} و ρ_{ij}: به‌ترتیب اثر افزایشی ژنوتیپ، میانگین محیطی، ارزش منفرد برای مؤلفه اصلی kام، عنصر jام بردار ویژه kام، عنصر iام بردار ویژه kام و باقیمانده هستند. به‌منظور ارزیابی پایداری عملکرد ژنوتیپ‌های جو براساس مقادیر مؤلفه اول و عملکرد دانه و ارزیابی سازگاری آن‌ها با محیط‌های مختلف، از بای‌پلات‌های AMMI-1 و AMMI-2 استفاده شد. جهت بررسی دقیق‌تر پایداری عملکرد ژنوتیپ‌های جو آماره‌های پایداری مبتنی بر مدل AMMI و BLUP به شرح جدول زیر محاسبه شدند (جدول ۴).

جدول ۴- آماره‌های پایداری و سازگاری محاسبه شده بر اساس مدل AMII و BLUP

Table 4. Calculated the AMMI and BLUP-based stability and adaptability statistics

مدل Model	آماره Statistic	نماد Symbol	مرجع Reference
AMMI-based	Averages of the squared eigenvector values	Ev	(Zobel, 1994)
	Sums of the absolute value of the IPC scores	SIPC	(Sneller *et al.*, 1997)
	Sum across environments of the GEI modelled by AMMI	AMGE	(Sneller *et al.*, 1997)
	Distance of IPCAs point with origin in space	D	(Annicchiarico, 1997), (Zhang *et al.*, 1998)
	AMMI stability value	ASV	(Purchase *et al.*, 2000)
	Stability measure based on fitted AMMI model	$W_{i(AMMI)}$	(Raju, 2002)
	AMMI Based Stability Parameter	ASTAB	(Rao and Prabhakaran, 2005)
	Modified AMMI Stability Value	MASV	(Zali *et al.*, 2012)
	Absolute value of relative contribution of IPCAs	Za	(Zali *et al.*, 2012)
	AMMI stability index	ASI	(Jambhulkar *et al.*, 2017)
	Modified AMMI stability index	MASI	(Ajay *et al.*, 2018)
BLUP-based	Harmonic mean of genotypic values	HMGV	(Resende and de Duarte, 2007)
	Relative performance of genotypic values	RPGV	(Resende and de Duarte, 2007)
	Harmonic mean of RPGV	HMRPGV	(Resende and de Duarte. 2007)
	Weighted average of absolute scores	WAASB	(Olivoto *et al.*, 2019)

تجزیه به مؤلفه‌های اصلی با هدف بررسی روابط بین عملکرد دانه و آماره‌های پایداری و سازگاری محاسبه شده انجام شد. تجزیه‌های آماری با استفاده از بسته آماری Metan و در محیط R انجام شدند (Olivoto and Lucio, 2020).

نتایج و بحث

براساس نتایج اطلاعات هواشناسی، در هر دو سال زراعی کمترین و بیشترین کمینه دمایی به‌ترتیب مربوط به ایستگاه‌های مغان و اهواز بود. در بین ایستگاه‌های هدف نیز اهواز و مغان به ترتیب دارای بیشترین و کمترین بیشینه دمایی بودند. کمترین میزان بارش در هر دو سال زراعی در ایستگاه زابل و بیشترین میزان بارش در ایستگاه گنبد کاووس ثبت شد (جدول ۳).

نتایج حاصل از تجزیه AMMI بر اساس داده‌های عملکرد دانه جمع‌آوری شده از ۱۰ محیط (ترکیب دو سال و پنج مکان) نشان داد که اثر اصلی ژنوتیپ، محیط و برهمکنش آن‌ها بر عملکرد دانه معنی‌دار بود. نتایج نشان داد که محیط بیشترین سهم تغییرات عملکرد دانه را توجیه کرد (۸۷/۴ درصد) و سهم برهمکنش ژنوتیپ و محیط و ژنوتیپ به‌ترتیب ۱۰/۴ و ۲/۱ درصد بودند. این نتایج نشان دهنده اثر بالای محیط بر تغییرات عملکرد دانه در ژنوتیپ‌های جو بود. یکی از دلایل

بالا بودن سهم اثر محیط را می‌توان به شرایط آب و هوایی حاکم بر اقلیم گرم نسبت داد. این اقلیم شامل دو شرایط گرم و خشک در جنوب (ایستگاه‌های اهواز، داراب و زابل) و گرم و مرطوب در شمال (مغان و گنبد کاووس) است (Zali *et al.*, 2023). نتایج سایر تحقیقات نیز نشان داده است که محیط سهم بالایی از تغییرات عملکرد دانه را توجیه می‌کند (Ghazvini *et al.*, 2022; Vaezi *et al.*, 2019; Ahakpaz *et al.*, 2021; Pour-Aboughadareh *et al.*, 2022; 2023a).

نتایج نشان داد که سه مؤلفه نخست برهمکنش ژنوتیپ و محیط در سطوح احتمال یک و پنج درصد معنی‌دار بودند. مؤلفه‌های اول، دوم و سوم، به‌ترتیب با ۳۱/۸، ۲۴/۸ و ۱۲/۳ درصد (در مجموع ۶۸/۹ درصد) تغییرات برهمکنش ژنوتیپ و محیط را تبیین کردند. مجموع مربعات باقیمانده مدل نیز با کمترین مقدار میانگین مربعات غیرمعنی‌دار بود که نشان دهنده دقت بالای مدل AMMI بود (Hemayati *et al.*, 2023). میانگین عملکرد دانه ژنوتیپ‌های جو بین ۷۴۰ کیلوگرم در هکتار (لاین ۱۵- سال اول در زابل) و ۷۵۴۰ کیلوگرم در هکتار (لاین ۳- سال دوم در مغان) متغیر بود. میانگین عملکرد دانه ژنوتیپ‌های جو در مجموع محیط‌ها بین ۴۱۱۰ (لاین ۱۸) و ۴۹۶۰ (لاین ۱۴) کیلوگرم در هکتار متغیر بود. لاین ۳ با عملکرد ۴۲۸۰ و ۵۸۹۰ کیلوگرم در هکتار و لاین ۱۴ با عملکرد ۴۲۵۰ و ۶۰۳۰ کیلوگرم در هکتار دارای بیشترین عملکرد دانه در مقایسه با سایر لاین‌ها و ارقام شاهد به‌ترتیب در مناطق جنوبی و شمالی بودند (جدول ۵).

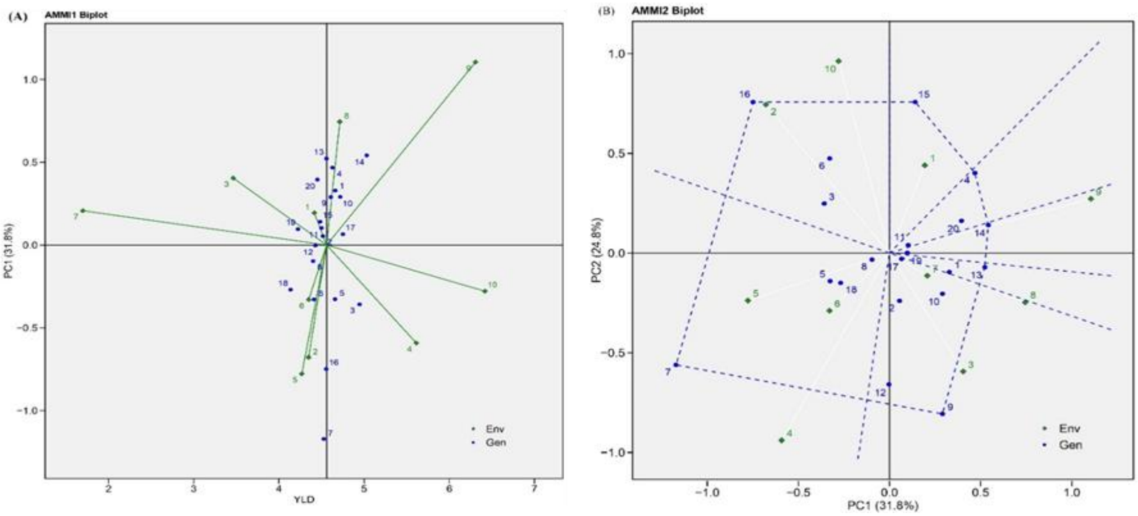
نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که کمترین عملکرد دانه مربوط به ایستگاه زابل در سال اول (۱۰۱۱ کیلوگرم در هکتار) و بیشترین مقدار آن (۶۴۱۸/۵ کیلوگرم) مربوط به ایستگاه مغان در سال دوم بود (جدول ۵). به منظور ارزیابی واکنش ژنوتیپ‌های جو در محیط‌های مختلف از روش تجزیه بای‌پلات‌های AMMI-1 و AMMI-2 استفاده شد. این تجزیه‌ها به‌دلیل نمایش گرافیکی واکنش ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها در برهمکنش ژنوتیپ و محیط، ابزار مناسبی جهت شناسایی ژنوتیپ‌های سازگار به تمام و یا برخی از محیط‌های ویژه هستند (Suadric *et al.*, 2006). در بای‌پلات AMMI-1 محورهای افقی و عمودی به‌ترتیب مربوط به عملکرد دانه و ضرایب عامل اول برای ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها (IPCA1) هستند که به ترتیب نشان دهنده اثرات اصلی جمع‌پذیر و متقابل ضرب‌پذیر هستند. نتایج نشان داد که ژنوتیپ‌های ۱، ۳، ۴، ۵، ۹، ۱۰، ۱۴ و ۱۷ دارای عملکرد دانه بیشتر از میانگین کل بودند و در بین آن‌ها ژنوتیپ‌های ۱، ۱۰ و ۱۷ با کمترین مقادیر IPCA (نزدیک صفر) به عنوان پایدارترین ژنوتیپ‌ها شناسایی شدند (شکل ۱- الف).

ژنوتیپ‌های واقع در مرکز بای‌پلات (۲، ۸، ۱۱ و ۱۲) دارای برهمکنش نزدیک به صفر بوده و دارای سازگاری عمومی بیشتری هستند. در مقابل، ژنوتیپ‌های ۳، ۱۴ و ۱۶ که در نقاط دورتری از مرکز بای‌پلات قرار داشتند، دارای سازگاری خصوصی با برخی از محیط‌ها بودند و بیشترین تأثیر را در برهمکنش ژنوتیپ و محیط داشتند. گاوچ و زوبل (Gauch and Zobel, 1997) اظهار داشتند در صورتی‌که دو مؤلفه نخست بیشترین سهم برهمکنش ژنوتیپ و محیط را توجیه کنند می‌توان از آنها برای شناسایی ژنوتیپ‌های مطلوب از نظر عملکرد دانه و پایداری استفاده کرد. براساس بای‌پلات AMMI-2 (شکل ۱-ب) محیط‌ها به چهار بخش تفکیک شدند. محیط‌های E1، E2 و E10 (به‌ترتیب مربوط به داده‌های دو سال اهواز و سال دوم مغان) در یک بخش قرار گرفتند. در این محیط‌ها لاین‌های ۱۵ و ۱۶ به عنوان ژنوتیپ‌های پرمحصول و سازگار شناسایی شدند. لاین ۱۴ در محیط E9 (سال اول- مغان) دارای سازگاری خصوصی بود. لاین ۹ نیز

جدول ۵- عملکرد دانه لاین‌های امیدبخش جو در محیط‌های آزمایشی اقلیم گرم ایران (۰۱-۱۴۰۰ و ۰۲-۱۴۰۱)

Table 5. Grain yield (kg.ha^{-1}) of barley promising lines in experimental environments of warm climate of Iran (2021-22 and 2022-23)

	اهواز Ahvaz		داراب Darab		گنبدکاووس Gonbad		زابل Zabol		مغان Moghan		میانگین عملکرد در محیط‌ها Mean of environments		موقعیت جغرافیایی Geographical location			
ژنوتیپ‌های جو Barley genotypes	۱۴۰۰-۰۱ 2021-22	۱۴۰۱-۰۲ 2022-23	۱۴۰۰-۰۱ 2021-22	۱۴۰۱-۰۲ 2022-23	۱۴۰۰-۰۱ 2021-22	۱۴۰۱-۰۲ 2022-23	۱۴۰۰-۰۱ 2021-22	۱۴۰۱-۰۲ 2022-23	۱۴۰۰-۰۱ 2021-22	۱۴۰۱-۰۲ 2022-23	میانگین Mean	رتبه R	جنوب South	رتبه R	شمال North	رتبه R
G1	4250	4320	4730	5450	4000	4690	1230	4690	6680	6600	4660	5	4110	5	5490	8
G2	4210	4310	3420	5790	4460	4540	1170	4580	6660	5790	4490	12	3910	11	5360	13
G3	4390	5200	3960	6090	4910	4680	1250	4780	6440	7540	4920	2	4280	1	5890	2
G4	4650	4690	3920	5510	3430	4630	930	5000	6860	7010	4660	6	4120	4	5480	9
G5	3880	4140	3080	5960	4920	4530	960	5100	5960	6970	4550	8	3850	13	5590	5
G6	3810	5170	2580	5070	4100	4260	990	4260	6260	6540	4300	18	3650	19	5290	15
G7	3660	4830	3640	7020	5210	4020	970	3650	5080	6320	4440	14	3960	8	5160	17
G8	4270	3880	3190	5330	4640	4560	970	4120	6380	6230	4360	17	3630	20	5450	11
G9	4360	3490	3480	6440	3930	5340	970	5860	6010	5690	4560	7	4100	6	5240	16
G10	4570	4250	3470	6130	4390	4810	1530	5070	7150	6110	4750	3	4170	3	5620	4
G11	4550	4070	3790	5030	4400	5160	910	5090	5740	6530	4530	10	3910	12	5460	10
G12	3810	4370	3720	6000	4080	5330	930	4910	5980	5180	4430	15	3950	9	5140	18
G13	4510	3520	3530	5640	3870	4840	900	4900	7060	6560	4530	9	3830	14	5580	6
G14	5250	4170	3630	5710	4530	5150	920	5810	7430	7000	4960	1	4250	2	6030	1
G15	4330	5200	2850	4840	3800	4720	740	4590	6860	6760	4470	13	3760	16	5530	7
G16	5430	5080	2220	5470	4540	4620	990	4370	5190	7290	4520	11	3930	10	5410	12
G17	4960	4140	3790	5620	4590	4790	1100	4320	6950	6450	4670	4	3990	7	5700	3
G18	4640	3880	3390	5410	3920	4170	870	3940	5050	5830	4110	20	3690	17	4740	20
G19	4430	4070	3180	5020	3800	4600	930	4380	5930	5720	4210	19	3670	18	5010	19
G20	4350	4210	3720	4700	3890	4680	960	4880	6500	6250	4410	16	3800	15	5330	14
Mean	4415.5	4349.5	3464.5	5611.5	4270.5	4706.0	1011.0	4715.0	6308.5	6418.5						



شکل ۱- بای‌پلات AMMI-1 (A) و AMMI-2 (B) حاصل از تجزیه AMMI بر اساس عملکرد دانه لاین‌های امیدبخش جو

Fig. 1. The AMMI-1 and AMMI-2 biplots obtained based on the AMMI model for the grain yield (YLD) of barley promising lines

دارای سازگاری خصوصی مطلوبی با محیط‌های زابل (E7 و E8) و سال اول داراب (E3) داشت. لاین ۷ نیز به عنوان ژنوتیپ برتر در محیط‌های گنبد (E5 و E6) و سال دوم داراب (E4) شناسایی شد. توحیدی و همکاران (Tohidi *et al.*, 2015) جهت ارزیابی واکنش ژنوتیپ‌های گندم در مناطق مختلف ایران از بای‌پلات‌های مدل AMMI استفاده کردند. فلاحی و همکاران (Fallahi *et al.*, 2011) نیز به‌منظور شناسایی ژنوتیپ‌های پایدار گندم دوروم از روش AMMI استفاده کرده و اظهار داشتند که استفاده از بای‌پلات مدل AMMI-2 برای انتخاب ژنوتیپ‌های دارای سازگاری عمومی برای برخی از مناطق هدف مورد مطالعه مناسب بود.

براساس آماره‌های پایداری مبتنی بر مدل AMMI، چهار لاین ۸، ۱۱، ۱۷ و ۱۹ همراه با رقم گلچین، به‌عنوان پایدارترین ژنوتیپ‌ها شناسایی شدند. مقایسه میانگین عملکرد ژنوتیپ‌های منتخب نشان داد به جز لاین ۱۷، سایر ژنوتیپ‌ها از عملکرد پایینی برخوردار بودند. بررسی مقادیر آماره HMGV نشان داد که لاین‌های ۳، ۹، ۱۰، ۱۴ و ۱۹ بالاترین میزان پایداری عملکرد را داشتند. از نظر آماره RPGV، ژنوتیپ‌های ۱، ۳، ۱۰، ۱۴ و ۱۷ دارای بیشترین میزان سازگاری به محیط‌های مختلف بودند. ژنوتیپ‌های یاد شده از نظر آماره پایداری و سازگاری (HMRPGV) نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها و رقم گلچین برتری داشتند. مدل BLUP نیز قادر به برآورد ارزش اصلاحی ژنوتیپ‌های مورد ارزیابی در محیط‌های مختلف است و می‌توان از آن در فرآیند گزینش استفاده کرد. یکی از شاخص‌های گزینشی مبتنی بر این مدل HMGV می‌باشد (جدول ۶). این شاخص بر اساس میانگین هارمونیک ارزش‌های ژنوتیپی قادر به شناسایی ژنوتیپ‌های پایدار در محیط‌های مختلف است (Resende and Duarte, 2007). شاخص‌های RPGV و HMRPGV نیز به‌ترتیب با بهره‌مندی از پاسخ ژنوتیپی در هر محیط و ایجاد الگوی رتبه‌بندی برای ژنوتیپ‌های مورد بررسی، قادر به برآورد سازگاری و پایداری و سازگاری همزمان هستند (Borges *et al.*, 2010).

جدول ۶- آماره‌های پایداری برآورد شده بر اساس مدل AMMI و BLUP در لاین‌های امیدبخش جو

Table 6. Estimated stability statistics based on the AMMI and BLUP models in barley promising lines

ژنوتیپ‌های جو Barley genotypes	Grain yield (kg.ha^{-1})	ASTAB	ASI	ASV	AVAMGE	DA	DZ	EV	FA	MASI	MASV	SIPC	ZA	HMGV	RPGV	HMRPGV
G1	4660	0.54	0.11	0.43	2.89	1.18	0.47	0.07	1.38	0.13	0.80	1.08	0.12	4.07	1.02	1.02
G2	4490	0.08	0.06	0.25	1.14	0.49	0.17	0.01	0.24	0.06	0.50	0.43	0.05	3.96	0.99	0.99
G3	4920	0.35	0.13	0.52	2.48	1.01	0.35	0.04	1.01	0.14	0.79	1.00	0.13	4.24	1.06	1.06
G4	4660	0.52	0.18	0.72	3.12	1.28	0.42	0.06	1.63	0.19	1.07	1.24	0.17	4.04	1.01	1.01
G5	4550	0.21	0.11	0.44	1.92	0.80	0.27	0.02	0.65	0.12	0.59	0.76	0.10	4.07	1.02	1.01
G6	4300	0.34	0.16	0.64	2.80	1.06	0.32	0.03	1.13	0.16	1.05	0.89	0.13	3.84	0.97	0.97
G7	4440	1.88	0.40	1.60	7.02	2.53	0.75	0.19	6.42	0.40	1.93	2.18	0.31	3.89	0.99	0.99
G8	4360	0.01	0.03	0.13	0.50	0.19	0.05	0.00	0.04	0.03	0.14	0.13	0.02	3.84	0.97	0.97
G9	4560	1.15	0.22	0.89	4.40	1.82	0.64	0.14	3.32	0.23	1.78	1.74	0.21	4.10	1.01	1.01
G10	4750	0.13	0.11	0.43	1.75	0.66	0.19	0.01	0.44	0.11	0.55	0.50	0.08	4.11	1.02	1.02
G11	4530	0.04	0.03	0.14	0.85	0.32	0.12	0.00	0.10	0.04	0.22	0.30	0.04	4.00	1.00	1.00
G12	4430	0.45	0.16	0.66	3.11	1.19	0.38	0.05	1.42	0.16	1.33	0.78	0.10	3.95	0.98	0.98
G13	4530	0.28	0.17	0.68	2.84	1.01	0.28	0.03	1.02	0.17	0.69	0.66	0.10	3.99	1.00	1.00
G14	4960	0.46	0.18	0.71	3.37	1.21	0.39	0.05	1.46	0.18	0.84	1.07	0.14	4.35	1.08	1.07
G15	4470	0.63	0.19	0.78	3.90	1.41	0.45	0.07	1.99	0.20	1.54	1.09	0.15	3.91	0.98	0.98
G16	4520	1.67	0.30	1.22	5.96	2.25	0.76	0.19	5.07	0.32	1.94	2.24	0.29	3.93	1.00	0.99
G17	4670	0.01	0.02	0.09	0.42	0.16	0.06	0.00	0.03	0.02	0.12	0.16	0.02	4.09	1.03	1.03
G18	4110	0.12	0.09	0.38	1.46	0.62	0.19	0.01	0.38	0.09	0.48	0.56	0.08	3.69	0.93	0.93
G19	4210	0.02	0.03	0.12	0.71	0.26	0.10	0.00	0.07	0.03	0.17	0.22	0.03	3.77	0.95	0.95
G20	4410	0.19	0.13	0.53	2.09	0.82	0.23	0.02	0.67	0.13	0.61	0.65	0.10	3.95	0.99	0.99

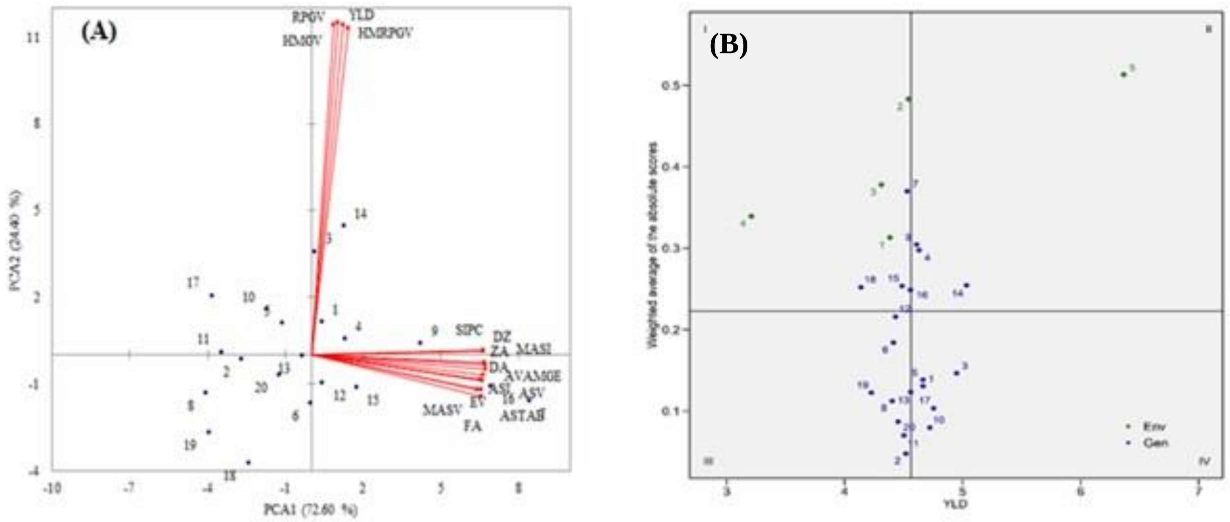
See table 4 for the abbreviations

برای مشاهده حروف اختصاری به جدول ۴ رجوع شود

بـه‌منظـور ارزیـابی روابـط بـین عملکـرد دانـه و آماره‌های سازگاری و پایـداری، تجزیـه بـه مؤلفـه‌هـای اصلی (PCA) انجام شد. نتایج حاصـل نشـان داد کـه دو مؤلفه نخست در مجموع ۹۷ درصد از تغییرات مشـاهده شده در عملکرد دانـه و آمـاره‌هـای پـارامتری را توجیـه کردند. براساس بای‌پلات ترسیم شـده بـا اسـتفاده از دو مؤلفه نخست، روابط بین آماره‌های پایداری و عملکـرد دانه مورد بررسی قرار گرفت. در این روش، با توجـه بـه زاویـه بـین بردارهـای هـر یـک از آمـاره‌هـا مـی‌تـوان همبستگی بین آن‌ها را تعیین کـرد. چنانچـه کوسـینوس زاویـه بـین بردارهـای دو آمـاره کـوچکتر از ۹۰ درجـه باشد، آن دو آماره دارای همبستگی مثبت و معنـی‌داری بـا یکـدیگر هسـتند. همـان‌طـور کـه در شـکل ۱- الـف مشاهده می‌شود، کلیه آماره‌های مبتنی بـر مـدل AMMI دارای همبستگی مثبت و معنی‌داری بـا یکـدیگر بودنـد. وجود همبستگی مثبت و معنی‌دار بین آمـاره‌هـای مبتنـی بر AMMI دور از انتظار نبود، زیرا این آمـاره بـر اسـاس ضرایب و نمرات استخراج شده از مدل AMMI بـرآورد شده‌اند. استفاده از ایـن آمـاره در تحقیقـات انجـام شـده روی جـو و سـایر گیاهـان زراعـی نیـز جهـت ارزیـابی پایداری ژنوتیپ‌هـا گـزارش شـده اسـت. نتـایج تحقیـق حمـایتی و همکـاران (Hemayati *et al.*, 2023) نشـان داد کــه آمــاره‌هــای AMGE، MASV، MASI و ASI دارای روابـط مثبتـی بـا یکـدیگر بودنـد و الگـوی مشابهی در انتخاب ژنوتیپ‌های چغندرقنـد ارائـه دادنـد. خزایـی و همکـاران (Khazaei *et al.*, 2021) نیـز جهت شناسایی لاین‌های پایدار سورگوم از آماره ASV اسـتفاده کردنـد و اظهـار داشـتند کـه نتـایج بـه دسـت آمـده از ایـن آمـاره بـا نتـایج ارائـه شـده توسـط مـدل AMMI-1 مشـابه بـود. پورابوقـداره و همکـاران (Pour-Aboughadareh *et al.*, 2023c) نیـز در ارزیـابی مجموعه‌ای از لاین‌های جو، کارایی بالای شاخص‌هـای ASTAB، EV، ASI و ASV در شناسـایی لایـن‌هـای پایـدار جـو را گـزارش کردنـد. عملکـرد دانـه تنهـا بـا آمـاره‌هـای مبتنـی بـر مـدل BLUP همبسـتگی مثبـت و معنی‌دار داشـت. پـیش از ایـن پورابوقـداره و همکـاران (Pour-Aboughadareh *et al.*, 2023d) همبسـتگی مثبـت و معنـی‌داری بـین آمـاره‌هـای HMGV، RPGV و HMRPGV با عملکرد دانه در برخـی از ژنوتیـپ‌هـای جـو گـزارش کردنـد و اظهـار داشـتند ایـن آمـاره‌هـا نشـان دهنـده مفهـوم دینـامیکی از پایـداری بـوده و می‌توان از آنها در گزینش ژنوتیپ‌هـای پایـدار اسـتفاده کرد.

گروه‌بنـدی ژنوتیـپ‌هـای جـو بـا اسـتفاده از شـاخص WAASB محاسـبه شـده، براسـاس میـانگین داده‌هـای دو سـاله در شـکل ۲- ب نشـان داده شـده اسـت. بـر اسـاس بـای‌پـلات حاصـل از ایـن شـاخص و عملکـرد دانـه، ژنوتیپ‌ها و محیط‌های آزمایشی در چهار ربع گروه‌بنـدی شـدند. در ایـن الگـوی گـروه‌بنـدی، ربـع اول شـامل ژنوتیپ‌های کم‌محصول و ناپایدار همراه بـا محیط‌هـایی بـا قابلیـت تمـایز بـالا بـود. در ربـع دوم ژنوتیـپ‌هـای پرمحصول اما ناپایدار قرار داشتند. محیط‌هـای ایـن گـروه مشابه گروه اول از قدرت تمایز بالایی برخـوردار هسـتند. ربع سوم شامل ژنوتیپ‌های کـم‌محصـول امـا سـازگار بـه طیف وسیعی از محیط‌ها بودنـد. محـیط‌هـای موجـود در این گروه از قدرت تمایز خوبی برخوردار نیستند. در ربـع چهـارم ژنوتیــپ‌هــای پرمحصــول و پایــدار همــراه بــا محیط هـای دارای قـدرت تمـایز پـایین قـرار داشـتند. بـر اسـاس نتـایج در گـروه ربـع اول لایـن‌هـای ۷، ۱۵ و ۱۸ همـراه بـا محـیط‌هـای اهـواز، داراب، گنبـد و زابـل قـرار داشتند. لاین‌های این گروه دارای عملکـرد دانـه کمتـر از میانگین کل و جزء ناپایدارترین لاین‌ها بودنـد و بیشـترین نقـش را در بـرهمکنش ژنوتیـپ و محـیط داشـتند. محیط‌های واقع در این ربع دارای بیشـترین قـدرت تمـایز بودند. در ربع دوم لاین‌های ناپایدار اما پرمحصول ۴، ۹ و ۱۴ قرار داشتند. محیط مغان نیز با قدرت تمایز بالا در ایـن ربع قرار گرفت. ربع سوم دربرگیرنـده ژنوتیـپ‌هـای کـم بازده اما پایدار بود. در این ربع ژنوتیپ‌هـای ۲، ۶، ۸، ۱۲،

۱۹ و ۲۰ قرار گرفتند. در ربع چهارم ژنوتیپ‌های ۱، ۳، ۵، ۱۰ و ۱۷ به عنوان پایدارترین ژنوتیپ‌ها با عملکرد بالاتر از میانگین کل و کمترین مقدار شاخص WAASB قرار گرفتند. پیش از این، آهک‌پز و همکاران (Ahakpaz *et al.*, 2021) و پورابوقداره و همکاران (Pour-Aboughadareh *et al.*, 2022) در رابطه با شناسایی ژنوتیپ‌های امیدبخش جو از مدل WASSB استفاده و گزارش کردند که بای‌پلات ترسیم شده براساس این مدل مطابقت بالایی با نتایج تجزیه GGE داشته و به خوبی قادر به ارائه الگوی واضحی از سازگاری و پایداری ژنوتیپ‌ها در محیط‌های هدف می‌باشد.



شکل ۲- نمایش بای‌پلات براساس دو مؤلفه نخست PCA با استفاده از آماره‌های پایداری و سازگاری (A). نمایش بای‌پلات براساس شاخص WASSB و عملکرد دانه جهت گروه‌بندی ژنوتیپ‌های جو و محیط‌های آزمایشی (B)

Fig. 2. The biplot based on the first two components using stability and adaptability statistics (A). The biplot based on the WAASB index and grain yield (YLD) to grouping the barley genotypes and experimental environments (B)

نتیجه‌گیری

در این تحقیق پس از حصول اطمینان از معنی‌دار بودن برهمکنش ژنوتیپ و محیط، پایداری و سازگاری لاین‌های امیدبخش جو مورد بررسی ارزیابی شد. نتایج مقایسه میانگین‌های عملکرد دانه نشان داد که لاین‌های ۱۴ و به دنبال آن ۳، ۱۰ و ۱۷ در مجموع محیط‌های آزمایشی، دارای بیشترین مقدار عملکرد دانه نسبت به ارقام شاهد و سایر لاین‌ها بودند. لاین‌های ۳، ۱۴ و ۱۷ دارای بیشترین عملکرد در مناطق شمالی اقلیم گرم (مغان و گنبد کاووس) بودند. لاین‌های ۳، ۱۰ و ۱۴ نیز عملکرد بالاتری نسبت به سایر لاین‌ها و ارقام شاهد در مناطق جنوبی اقلیم گرم (اهواز، داراب و زابل) داشتند. نتایج حاصل از آماره‌های پایداری و بای‌پلات‌های بدست آمده از مدل AMMI و BLUP نیز پایداری ژنوتیپ‌های منتخب را تأیید نمود. با توجه به بای‌پلات به دست آمده از شاخص WAASB و عملکرد دانه، لاین‌های ۴ و ۱۴ با سازگاری خصوصی برای مناطق شمالی و لاین‌های ۳ و ۱۰ با سازگاری خصوصی، برای مناطق جنوبی شناسایی شدند.

سپاسگزاری

نگارندگان مقاله از مساعدت موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر و همچنین کارکنان محترم مراکز تحقیقاتی همکار در فراهم نمودن داده‌های آزمایشی این مقاله (شماره مصوب ۰۰۱۲۴۰-۱۶۱-۰۳۱۳-۰۳-۰۳) کمال تشکر و قدردانی را دارند.

منابع مورد استفاده

References

Ahakpaz, F., Abdi, H., Neyestani, E., Hesami, A., Mohammadi, B., Nader Mahmoudi, K., Abedi-Asl, G., Jazayeri Noshabadi, M.R., Ahakpaz, F. and Alipour, H. 2021. Genotype-by-environment interaction analysis for grain yield of barley genotypes under dryland conditions and the role of monthly rainfall. *Agricultural Water Management*, 245, pp.10665. DOI: 10.1016/j.agwat.2020.106665

Ajay, B.C., Aravind, J. Abdul Fiyaz, R., Bera, S.K., Narendra, K., Gangadhar, K. and Kona. P. 2018. Modified AMMI stability index (MASI) for stability analysis. *Ground News*, 18, pp.4–5.

Annicchiarico, P. 1997. Joint regression vs AMMI analysis of genotype-environment interactions for cereals in Italy. *Euphytica*, 94, pp.53–62. DOI: 10.1023/A:1002954824178

Borges, V., Soares, A.A., Reis, M.S., Resende, M.D.V., Cornelio, V.M.O., Leite, N.A. and Vieira, A.R. 2010. Desempenho genotipico de linhagens de arroz de terras altas utilizando metodologia de modelos mistos. *Bragantia*, 69, pp.833–841. DOI: 10.1590/S0006-87052010000400008

Fallahi, H.A., Jafarabi, J.A. and Saidi, F. 2001. Evaluation of drought tolerance in durum wheat genotypes using drought tolerance indices. *Journal of Seed and Plant*, 1(27), pp.15–22. [In Persian].

FAOSTAT Statistical Database. 2023. Available online: http://www.fao.org/faostat/en/#home (accessed on 6 November 2023)

Gauch, H.G. 1992. Statistical Analysis of Regional Trials. AMMI Analysis of Factorial Design. (1st Ed.) Elsevier, New York, USA.

Gauch, H.G. and Zobel, R.W. 1997. Identifying mega-environments and targeting genotypes. *Crop Science*, 37, pp.311–326. DOI: 10.2135/cropsci1997.0011183X003700020002x

Ghazvini, H., Bagherikia, S., Pour-Aboughadareh, A.R., Sharifalhossaini, M., Razavi, S. A., Mohammadi, S., Ghasemi Kalkhoran, M., Fathi Hafshejani, A. and Khakizade, G. 2022. GGE biplot analysis of promising barley lines in the cold regions of Iran. *Journal of Crop Improvement*, 36, pp.461–547. DOI: 10.1080/15427528.2021.1977448

Ghazvini, H., Lakzade, I., Kouhkan S. A., Jabari, M., Barati, A., Fallahi H. A., Soflaee, H.K.G., Shahbazi K., Yousefi, A., Aghnoum, R., Safavi, S.A., Zakeri, A., Kazerani, N.K., Nikkhah, H., Tahmasebi, S., Dadrezaee, S.T., Nazeri, S.M., Sharifi Alhossaini, M., Dalvand, M. and Rakhshanderoo, M. 2019. Oksin, a new irrigated six-rowed barley cultivar with wide adaptability in warm agro-climate zone of Iran. *Research Achievements for Field and Horticulture Crops*, 7, pp.149-159. [In Persian]. DOI: 10.22092/RAFHC.2019.121086.1125

Hemayati S.S., Saremirad, A., Mohammadian, R., Jalilian, A., Rezaei, J., Sharifi, M. and Redram, A. 2023. Study of genotypes-environment interaction effect on sugar yield of sugar beet (*Beta vulgaris* L.) hybrid. *Journal of Crop Science Research in Arid Regions*, 5, pp.345–364. [In Persian]. DOI: 10.52547/jcb.14.44.103

Jambhulkar N.N., Bose, L.K. and Singh, O.N. 2017. AMMI Stability Index for Stability Analysis. p. 15. *In*: Mohapatra, T. (Ed.). CRRI Newsletter. Central Rice Research Institute, Cuttack, India.

Khazaei, A., Torabi, M. Mokhtarpour, H. and Beheshti, A.R. 2019. Evaluation of yield stability of forage sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] using AMMI analysis. *Iranian Journal of Crop Sciences*, 21(3), pp.225–236. [In Persian]. DOI: 10.29252/abj.21.3.225

Khazaei, A., Torabi, M., Fyzbakhsh, M.T. and Azari Nasrabad, A. 2021. Analysis of grain yield stability and assessment of genotype × environment interaction for grain sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) genotypes. *Iranian Journal of Crop Sciences*, 23(3), pp.211–222. [In Persian]. DOI: 20.1001.1.15625540.1400.23.3.2.0

Moumeni, A., Mohaddesi, A., Amo-oughli-Tabari, M., Tavassoli-Larijani F. and Khosravi, V. 2019. Stability analysis and genotype × environment interaction for grain yield of rice (*Oryza sativa* L.) promising breeding lines. *Iranian Journal of Crop Sciences*, 20(4), pp.329–343. [In Persian]. DOI: 20.1001.1.15625540.1397.20.4.5.4

Najafi Mirak, T., Moayedi, A.A., Sasani, S. and Ghandi, A. 2019. Evaluation of adaptation and grain yield stability of durum wheat (*Triticum turgidum* L.) genotypes in temperate agro-climate zone of Iran. *Iranian Journal of Crop Sciences*, 21(2), pp.127–138. [In Persian]. DOI: 10.29252/abj.21.2.127

Nikkhah, H.R., Yousefi, A., Mortazavian, S.M. and Arazmjoo, M. 2007. Analysis of yield stability of barley (*Hordeum vulgare* L.) genotypes- using additive main effects and multiplicative interaction (AMMI) model. *Iranian Journal of Crop Sciences*, 9 (1), pp.1–13. [In Persian]. DOI: 20.1001.1.15625540.1386.9.1.1.7

Olivoto, T. and Lucio, A.D. 2020. Metan: an R package for multi-environment trial analysis. *Methods in Ecology and Evolution*, 11, pp.783–789. DOI: 10.1111/2041-210X.13384

Olivoto, T., Licio, A.D.C., da Silva, J.A.G., Marchioro, V.S., de Souza, V.Q. and Jost, E. 2019. Mean performance and stability in multi-environment trials I: Combining features of AMMI and BLUP techniques. *Agronomy Journal*, 111, pp.2949–2960. DOI: 10.2134/agronj2019.03.0220

Pour-Aboughadareh A., Ghazvini, H., Jasemi, S.Sh., Mohammadi, S., Razavi, S.A., Chaichi, M.R., Ghasemi Kalkhoran, M., Monirifar, H., Tajali, H., Fathihafshjani, A. and Bocianowski, J. 2023a. Selection of high-yielding and stable genotypes of barley for the cold climate in Iran. *Plants*, 12, pp. 2410. DOI: 10.3390/plants12132410

Pour-Aboughadareh, A.R., Koohkan, S.A., Zali, H., Marzooghian, A., Gholipour, A., Kheirgo, M., Barati, A., Boci-anowski, J. and Askari-Kelestani, A. 2023b. Identification of high-yielding genotypes of barley in

the warm regions of Iran. *Plants*, 12, pp.3837. DOI: 10.3390/plants12223837

Pour-Aboughadareh A.R., Barati, A., Gholipoor, A., Zali, H., Marzooghian, A., Koohkan, S.A., Shahbazi-Homonloo, K. and Houseinpour, A. 2023c. Deciphering genotype-by-environment interaction in barley genotypes using different adaptability and stability methods. *Journal of Crop Science and Biotechnology*, 26, pp.547–562. DOI: 10.1007/s12892-023-00199-z

Pour-Aboughadareh A.R., Yousefian, M., Moradkhani, H., Poczai, P. and Siddique, K.H.M. 2019. STABILITYSOFT: A new online program to calculate parametric and non- parametric stability statistics for crop traits. *Applied in Plant Sciences*, 7, pp.e1211. DOI: 10.1002/aps3.1211

Pour-Aboughadareh, A.R., Barati, A., Koohkan, S.A., Jabari, M., Marzoghian, A., Gholipoor, A., Shahbazi-Homonloo, K., Zali, H., Poodineh, O. and Kheirgo, M. 2022. Dissection of genotype-by-environment interaction and yield stability analysis in barley using AMMI model and stability statistics. *Bulletin of the National Research Centre*, 46, pp.19. DOI: 0.1186/s42269-022-00703-5

Purchase J.L., Hatting, H. and Van Deventer, C.S. 2000. Genotype × environment interaction of winter wheat in South Africa: II. Stability analysis of yield performance. *South African Journal of Plant and Soil*, 17, pp.101–107. DOI: 10.1080/02571862.2000.10634878

Raju B.M.K. 2002. A study on AMMI model and its biplots. *Journal of the Indian Society of Agricultural Statistics*, 55, pp.297–322.

Rao, A.R. and Prabhakaran, V.T. 2005. Use of AMMI in simultaneous selection of genotypes for yield and stability. *Journal of the Indian Society of Agricultural Statistics*, 59, pp.76–82. DOI: 10.4067/S0718-58392014000100001

Resende, M.D.V. and de Duarte, J.B. 2007. Precisão e controle de qualidade em experimentos de avaliação de cultivares. *Pesquisa Agropecuaria Tropical*, 37, pp.182–194.

Sneller, C.H., Kilgore-Norquest, L. and Dombek, D. 1997. Repeatability of yield stability statistics in soybean. *Crop Science*, 37, pp.383–390. DOI: 10.2135/cropsci1997.0011183X003700020013x

Suadric, A., Simic, D. and Vratric, M. 2006. Characterization of genotype by environment interactions in soybean breeding programmes of southeast Europe. *Plant Breeding*, 125, pp.191-125. DOI: 10.1111/j.1439-0523.2006.01185.x

Tohidi, B., Mohammadi Nejad, Gh., Nakhoda, B. and Sabouri, H. 2015. Evaluation of grain yield stability of recombinant inbred lines in bread wheat (*Triticum aestivum* L.) based on AMMI method. *Journal of Plant Production Research*, 2(22), pp.189–202. [In Persian]. DOI: 20.1001.1.23222050.1394.22.2.10.9

Vaezi, B., Pour-Aboughadareh, A.R., Mohammadi, R., Mehraban, A., Hossein-Pour, T., Koohkan, E., Ghasemi, S., Moradkhani, H. and Siddique, K.H.M. 2019. Integrating different stability models to investigate genotype × environment interactions and identify stable and high yielding barley genotypes. *Euphytica*, 215, pp. 63. DOI: 10.1007/s10681-019-2386-5

Yan, W., Kang, M.S., Ma, B., Woods, S. and Cornelius, P.L. 2007. GGE biplot vs. AMMI analysis of genotype-by- environment data. *Crop Science*, 47, pp.643–653. DOI: 10.2135/cropsci2006.06.0374

Yan, W. and Kang, L.A. 2003. GGE Bioplot Analysis: A graphical Tool for Breeders, Geneticists and Agronomist. CRC Press, Boca Raton, FL. USA.

Zali H., Farshadfar, E., Sabaghpour, S.H. and Karimizadeh, R. 2012. Evaluation of genotype × environment interaction in chickpea using measures of stability from AMMI model. *Annals of Biological Research*, 3, pp.3126–3136.

Zali, H., Barati, A., Pour-Aboughadareh, A.R., Gholipour, A., Koohkan, S., Marzoghiyan, A., Bocianowski, J., Bujak, H. and Nowosad, K. 2023. Identification of superior barley genotypes using selection index of ideal genotype (SIIG). *Plants*, 12, pp.1843. DOI: 10.3390/plants12091843

Zhang, Z., Lu, C. and Xiang, Z. 1998. Analysis of variety stability based on AMMI model. *Acta Agronomica Sinica*, 24, pp.304–309.

Zobel, R. W. 1994. Stress resistance and root systems. *In*: Proceedings of the Workshop on Adaptation of Plants to Soil Stress, Lincoln, NE, USA, 1–4 August 1993, The University of Nebraska: Lincoln, Nebrask, USA.